

Ciencia y Sociedad: la Lógica más allá de la Lógica

Javier Montero*

*Facultad de Matemáticas, Universidad Complutense, Plaza de las Ciencias 3,
Madrid 28040, España (e-mail: Javier_montero@mat.ucm.es)

Resumen: Este trabajo pretende resaltar la importancia de la estructura lógica dentro del método científico, señalando que con frecuencia se hace tanto hincapié en el peso de la observación para garantizar la objetividad del método, que llega a pasar desapercibido que esa lógica es una elección previa del científico, que afecta directamente a cómo se diseña el experimento y por tanto el tipo de información que será observada. Sin embargo, la lógica binaria tradicional no se adecua bien a la representación de conceptos, esencial en las Ciencias Sociales y Humanidades. Se hace por tanto necesaria la construcción de procedimientos científicos contruados sobre lógicas alternativas que permitan dotar a las llamadas Ciencias *blandas* del mismo método científico que las llamadas Ciencias *duras*, donde el sistema de observación, la inferencia y el análisis de consistencia se construyen sin salirse de la lógica binaria, incluso bajo incertidumbre. Copyright © XXXX CEA.

Palabras Clave: Fuzzy Logic, Fuzzy Modelling, Uncertainty, Information Analysis, Decision Making.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque la Teoría de Conjuntos Difusos o *Fuzzy Sets* (Zadeh, 1965) ha demostrado reiteradamente su utilidad en infinidad de campos dentro de la ingeniería, fundamentalmente en problemas asociados a la complejidad (ya sea ésta de carácter estructural, metodológica o conceptual), puede considerarse cuando menos llamativa su baja presencia en la Ciencia *tradicional*, la que ha venido siendo englobada como *Ciencias Experimentales*. Así, los grandes primeros logros de la Lógica Difusa fueron en control y en problemas de clasificación, destacando actualmente en lo que podríamos llamar *gestión del conocimiento*, especialmente en los *servicios Web*, tanto en cuanto su soporte es lingüístico o con una fuerte componente conceptual.

El objetivo de este artículo no es otro que el de dar un breve repaso a la historia de la Ciencia para hacer hincapié en que la Ciencia Experimental no es sólo Ciencia por ser *experimental*, sino por contar con una estructura lógica que permite llevar a cabo análisis, inferencias y verificaciones, lógica que ha sido necesaria para el diseño del experimento mismo. A partir de esta observación intentaremos justificar cómo con frecuencia esta componente básica de la Ciencia puede pasar desapercibida por haber sido culturalmente admitido, al menos en el mundo Occidental, que sólo existe una lógica, la lógica Aristotélica, y eso a pesar de tener ésta una baja presencia en la vida cotidiana. Finalmente, y como consecuencia, concluiremos con unos comentarios acerca de la inevitabilidad del avance de la Lógica Difusa en Ciencias Sociales, Humanidades e incluso en la propia gestión de la Ciencia Experimental.

2. SOBRE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

No es sino hasta el siglo XVIII cuando la idea de *Ciencia* comienza a tener un significado diferente a de *Conocimiento*,

hasta que a mediados del siglo XIX adquiere el sentido que le damos actualmente.

Una visión desde luego simplista de la historia de la Ciencia podría comenzar con las matemáticas del calendario y de la observación astronómica, vitales para la organización social, la agricultura y la orientación. Más allá de los enfoques más o menos vitalistas o religiosos, los antiguos griegos llevaron a cabo un tremendo esfuerzo conceptual para estructurar el conocimiento acerca del mundo, a veces con planteamientos muy cercanos a los religiosos. Y cuando tras muchos avatares la Iglesia Católica de Roma se hizo hegemónica en Europa, Tomás de Aquino (1225-1274) dio un empuje decisivo apoyándose en parte en los trabajos de Aristóteles, para introducir en esta religión una componente racional que, como un virus, empezó a provocar grandes cambios en toda la Sociedad. Al trasladar la necesidad probatoria al ser humano, éste tiene entonces que buscar argumentos que otros seres humanos puedan considerar consistentes. Y al darle al hombre el protagonismo discursivo, del mismo modo que era cuestión de tiempo dejar de lado el Latín como lengua vehicular del conocimiento (a favor de las lenguas que utilizaba la Sociedad), dar la espalda a la argumentación de rango divino era también casi inevitable, como el tratar de escapar a las subjetividades personales para poder convencer al otro. Los descubrimientos tecnológicos como la prensa de Gutenberg (1398-1468) juega un papel esencial en la diseminación del conocimiento, revolución cultural probablemente equiparable al de la aparición de Internet en los últimos años, hasta llegar a Copérnico (1473-1543) y Galileo (1564-1642), como las muestras más representativas de la lucha del discurso humano frente al discurso divino.

Para bien o para mal, la Sociedad fue cada vez más centrándose en la observación de la realidad para comparar las predicciones de una teoría, quedando de algún modo en el subconsciente que sólo existía una lógica: la Lógica binaria

de Aristóteles, que fue aceptada por tanto sin discusión (donde no hay posibilidad de elección no discusión). De hecho, aunque Platón había ya reconocido la existencia de grados de verdad intermedios entre “Verdad” y “Falsedad”, la realidad es que no es hasta principios del siglo XX cuando Łukasiewicz (1878-1956) formaliza una lógica alternativa.

La visión positivista y empírica nos llevaría a las Ciencias Experimentales, construidas sobre la base de una observación y experimentación, aparentemente “objetivas”: la Química primero, la Física después (con las Matemáticas como herramienta de modelización), luego la Biología (con el consiguiente descubrimiento de la complejidad de los sistemas vivos), y desde hace pocos años, la Medicina, siguiendo aparentemente un patrón de acercamiento al hombre, en búsqueda de una “verdad” que habría de ser confirmada con la coincidencia entre las inferencias lógicas y la realidad. Así, si Wittgenstein (2001a, 2001b) establece que una proposición debe poder ser empíricamente verificada para tener significado, Carnap (1994) puntualiza que las afirmaciones universales nunca podrán ser verificadas, de modo que esas “verdades” no podrán ser alcanzadas; todo lo más podemos aspirar a una *confirmación gradualmente creciente* por parte de la Ciencia (Doig-Crnkovic, 2004). El empirismo exige que la Ciencia de comienzo con la observación, de modo que la acumulación de observaciones conduzca al soporte probabilístico de la pretendida conclusión. De este modo, la única alternativa que para Popper (2002) ofrece la Ciencia es la de *falsificar* cada conjetura, a través de observaciones inconsistentes con la teoría. Ninguna teoría podrá por tanto ser nunca validada. Además, como ningún investigador puede cubrir todos los ámbitos de experimentación, Kuhn (1962) llega a la conclusión de que la Ciencia avanza a través de un *cambio de paradigma* sin garantía alguna de nada que se pueda llamar “verdad”. Con lo que el esfuerzo inicial de las Ciencias Experimentales por la objetividad lleva a un cierto relativismo que adelanta las teorías post-modernistas, que alguna relación tienen con la teoría de Conjuntos Difusos (ver Negoitia, 2002).

Y es que la Ciencia, a pesar de ofrecer una estructura metodológica aparentemente dominante, necesita de extrañas componentes, asociadas principalmente a la creatividad. Feyerabend (1993) hace hincapié en este aspecto, pero en cuanto al objetivo de este artículo, señala sobre todo que es imposible evitar que toda observación está contaminada por alguna teoría (ver también Doig-Crnkovic, 2004): *toda observación presupone siempre la existencia de una serie de condicionantes desde las cuales se ha diseñado el experimento*.

3. LA LÓGICA ARISTOTÉLICA

El más grave problema en la Ciencia es probablemente la asunción casi inconsciente de la lógica binaria, que con el prejuicio de unicidad no se pone en tela de juicio, y desde la que se diseña el sistema de observación, y se decide qué es información y qué no es información, y por tanto qué es Ciencia y qué no es Ciencia.

Y es que la Ciencia ha hecho tanto hincapié en su parte experimental, que no ha prestado la debida atención a la parte que gestiona el conocimiento: al otro lado de la realidad que se observa hay un observador que utiliza una herramienta de razonamiento específica. Y para hacer Ciencia se necesita de ambas componentes, la empirista y la lógica, con la que no sólo se analizan los datos, sino que previamente han permitido construir y programar la observación, para que sea después analizable.

El hecho es que la Ciencia Experimental, hoy por hoy, contiene en su raíz más profunda la lógica binaria, desde la que se conciben sus experimentos, lo que se entiende como *información*, y cómo se manipula ésta. Nada que no sea compatible con esta lógica podrá ser manipulado y por tanto, simplemente no es *información*. Esto explica parcialmente el hecho de que las personas que a todas luces son racionales y consistentes rara vez hagan uso en su vida real de la única lógica que de la que tienen conocimiento formal, y de que haya a veces que hacer tantos esfuerzos en que la gente se acerque a la Ciencia. La gente siente la Ciencia como algo excesivamente lejano a sus vivencias personales. Incluso pudiera existir un extraño mensaje subliminal en nuestra cultura occidental que llega a sugerir que lo que no sigue las reglas de la lógica binaria simplemente no es lógica. Lo cual contradice llamativamente la percepción que tenemos de la consistencia profunda de nuestros propios actos y pensamientos. Todos sabemos que casi ninguna de nuestras afirmaciones es estrictamente verdad o mentira en la vida real, y sin embargo nos comunicamos de manera bastante eficaz.

Algunos científicos alegarán que las Ciencias *duras* no son posibles sin la lógica binaria, pero este argumento pudiera ser circular si entendemos que la lógica ha impuesto previamente que sólo se puede ocupar de las cosas que son necesariamente bien verdad, bien falsedad. Veamos en el contexto de la Teoría de la Probabilidad (que en sus comienzos fue de algún modo considerada no científica), a qué nos referimos.

4. LA TEORÍA DE LA PROBABILIDAD

Conviene recordar que la Ciencia del siglo XIX era todavía esencialmente determinista. La *incertidumbre* era el enemigo a derrotar. Si pudiésemos tener información completa, por supuesto que podríamos predecir si la moneda que sale de nuestra mano va a caer *cara* o *cruz*. Así que el aparente objetivo de los primeros probabilistas rozaba el escándalo científico de entonces, por centrarse en la modelización de la incertidumbre en lugar de diseñar nuevos experimentos para resolver lo que no podía ser más que falta de información.

Tuvieron que pasar varios siglos desde los primeros escauceos de la Probabilidad para conseguir ser aceptada sinceramente dentro del mundo de la Ciencia tradicional. Fue a principios del siglo XX cuando la Probabilidad demostró que no sólo podía formalizarse de acuerdo a las reglas precisas de la Matemática (Kolmogorov, 1956), sino que además resultó realmente eficiente dentro de la Mecánica

Cuántica (ver por ejemplo Feynman, 1966). De algún modo podría pensarse que la Probabilidad removía algunos de los fundamentos de la Ciencia, tanto en cuanto las consecuencias de un acto ya no es un hecho observable, sino una distribución de probabilidad entre varios hechos posibles. Sin embargo, la lógica de *sucesos* a los que se refería la Probabilidad era la misma lógica binaria de siempre: cada posible suceso ocurría o no ocurría, aunque nosotros no fuésemos capaces de reconocerlo. Con plena información debíamos saber con certeza si cada suceso ocurre o no ocurre. Una vez realizado el experimento, ante la pregunta de si ha ocurrido un determinado suceso, solo hay dos respuestas posibles, y solo una de las dos será válida: *sí* ha ocurrido o *no* ha ocurrido.

Resulta por tanto esencialmente inadecuado que a veces se cite como fundamento inmediato de la Probabilidad el Teorema de Stone (Stone, 1936), que establece el isomorfismo entre todo álgebra de Boole con el clásico álgebra de conjuntos, asumiendo sin crítica que los sucesos de los que hablamos tienen esa estructura de álgebra de Boole. Incluso a veces se apoya este isomorfismo con los términos lingüísticos asociados a los sucesos, olvidando que el lenguaje natural es otra representación de la realidad, quizá más cercana a la realidad que el lenguaje de la Teoría de Conjuntos, pero también una simplificación de la realidad. Los sucesos no son las palabras que los representan, y menos conjuntos. Es obvio, por ejemplo, que el significado de la palabra *sí* no es ni mucho menos unívoco (depende de la entonación y la expresión facial que le acompaña, por ejemplo, por no hablar del contexto general de la frase y la situación). Por supuesto que en la realidad existen más de un *sí* y más de un *no*. Por supuesto que en la realidad existen más de una *conjunción* y más de una *disyunción*. Por supuesto que en la realidad existen conectivos que no son conjunciones ni disyunciones. Por supuesto que la estructura de los sucesos a los que nos referimos en nuestra vida cotidiana es mucho más compleja que un álgebra de Boole.

El modelo de Kolmogorov (Kolmogorov, 1956) propone la representación de los sucesos en términos de un *espacio muestral*, que es entendido como el conjunto de posibles resultados de un experimento, que ha de ser obviamente consistente con el objetivo del estudio. En concreto, para que los sucesos de interés sean consistentes con el experimento que se diseñe, hemos de ser capaces de responder, una vez observado el resultado concreto del experimento, si cada suceso ha ocurrido o no ha ocurrido, sin terceras opciones. Ese espacio muestral es por tanto toda la información que el experimento nos aporta, y con esa información tenemos que resolver todos nuestros problemas. Estamos de este modo asumiendo una lógica binaria subyacente.

La cuestión clave es por tanto que el diseño de nuestro sistema de observación no es ni mucho menos ajeno a la elección de una lógica concreta. Si la lógica exige que la información sea de carácter nítido para poder ser verificada, evidentemente toda la información que se recoja será siempre nítida. La información difusa siempre tendrá tensiones con unos experimentos diseñados para recoger información

nítida. En puridad, para poder tratar información difusa tendríamos que diseñar un tipo diferente de experimentos.

Observando sin prejuicios nuestro lenguaje natural, es fácil notar que nuestro cerebro trata como sucesos entes que difícilmente se pueden representar adecuadamente como conjuntos. De hecho, con frecuencia resolvemos problemas de Probabilidad sin recurrir a esta representación conjuntista que podríamos quizá considerar *estándar*.

En cualquier caso, es importante recordar que la imagen que inicialmente pudieron transmitir los pioneros de la Probabilidad a través de su preocupación acerca de la incertidumbre en los *juegos de azar* escondía una revolución conceptual dentro de la Ciencia: el objeto de estudio de los primeros probabilistas (ver por ejemplo Folks, 1981) eran problemas de decisión: qué acción escoger en la presencia de información incompleta. Su problema era más bien la estimación del *precio justo* (a realizar por cierto a través de un análisis lógico de las diferentes opciones, no a través de la experimentación), y al hacer este movimiento trasladaban el campo de trabajo a nuestra mente. Aunque los primeros probabilistas eran deterministas (ellos reconocían que azar era simplemente falta de información, y que el azar desaparecería caso de llegar a disponer de información completa), más tarde algunos probabilistas defenderían que el azar forma parte de la descripción física de la realidad (de modo que las frecuencias relativas pueden converger a la probabilidad), mientras que otros probabilistas harían del todo explícito que la Probabilidad era simplemente una forma de *personal* entender el mundo (cuando las decisiones que toma cada uno son consistentes será como si nuestro cerebro calculase probabilidades para justificarlas). Con la Probabilidad el ser humano pasa a ser un *tomador de decisiones*, y ya no es un observador externo de la realidad (para una discusión más detallada ver Montero-Mendel, 1998).

La paradoja es sin embargo que a pesar de que nuestras observaciones parecen nítidas (porque así hemos diseñado nuestros experimentos), es notorio que la mayor parte de nuestras decisiones no son nítidas (lo que es nítido son las acciones *observables* que se siguen de nuestra decisión, ver Montero-Mendel, 1998). Nuestras decisiones importantes son normalmente más bien difusas, de carácter a veces puramente estratégico, y la elección de una acción concreta exige otros mecanismos, como otros mecanismos serán necesarios para confirmar que esas acciones son consistentes con la intenciones declaradas (muchos detalles de nuestras decisiones son resueltos sobre la marcha, como dejadas *al azar*, según las circunstancias concretas que concurran en el momento, ver también Montero, 2003). Así, como se anuncia en Roy (1993) y Shafer (1986) con sus observaciones acerca de la creatividad, la Neurología ha probado recientemente Bechara et al. (2000, 2003), que la parte de nuestro cerebro que analiza las decisiones está físicamente diferenciada de la parte del cerebro donde se toman las decisiones, las cuales eventualmente producirán los actos observables (el daño en ciertas zonas del cerebro deja intactas las capacidades racionales sin ser el individuo afectado capaz de dar el salto

emocional de la elección entre las diferentes opciones). Para tomar decisiones se necesita que varias estructuras cerebrales cooperen, y poder entonces superar la falta o el exceso de información, o las inconsistencias y contradicciones aparentes, o las limitaciones de recursos y tiempo, por ejemplo (ver Hsu et al., 2005, y Kounios et al., 2006).

La Probabilidad introduce al ser humano (el decisor) como parte del problema a analizar, pero esto lo hace con un modelo del todo consistente con la lógica binaria, tanto por la concepción de sus experimentos como de la información que se procesa. Los sucesos de los que se ocupa la Probabilidad sólo son aquéllos que definen una estructura isomorfa a un álgebra de conjuntos, con bordes perfectamente definidos entre cada suceso y su negación.

5. LA CIENCIA EN CRISIS

La Ciencia Experimental recibió sin embargo dos duros golpes casi simultáneos durante el primer tercio del siglo XX.

El primer golpe está asociado a la Mecánica Cuántica, donde la Probabilidad juega un papel esencial: en 1927 Heisenberg muestra que ningún experimento puede ser completo, pues el observador modifica la realidad observada, una argumentación en la misma línea antes recordada de Feyerabend [9]. El observador es parte del experimento, y para observar unas cosas tiene que modificar otras.

El segundo golpe es en realidad más relevante, y enlaza con el argumento esencial del presente artículo, tanto en cuanto parece que después de casi un siglo no haya producido grandes consecuencias en la concepción de la Ciencia: en 1930 Gödel demuestra que tampoco se puede lograr un sistema lógico completo. En todo sistema formal se podrán encontrar afirmaciones ciertas que no pueden ser probadas dentro del propio sistema formal. La consistencia de un sistema formal no puede ser demostrada desde dentro del propio sistema (ver de nuevo Doig-Crnkovic, 2004).

Difícilmente esta segunda *incompletitud* puede tener consecuencia alguna mientras la Ciencia no se plantee la posibilidad de construir otros experimentos y otras estructuras de información alternativos a los que ofrece la lógica binaria.

6. LA CIENCIA ALTERNATIVA

Si la Ciencia no puede ya obviar que el ser humano es parte de sus objetivos (que han ido transformándose desde lejanos objetos celestiales hasta la Medicina y la Psicología), tampoco puede obviar que entre los parámetros que intervienen es su construcción y ejecución está el propio lenguaje que utilizamos.

En efecto, el lenguaje puede ser considerado como el formato más extendido para la representación de la información, y desde luego no es el único (la Matemática ofrece tradicionalmente otro sistema de representación, por ejemplo, pero el Arte en general también supone modelos

alternativos). Como nos recordaba Wittgenstein [29], todos los aspectos de nuestra mente son fuertemente dependientes del uso del lenguaje. Y esto incluye a la propia Ciencia en cuanto interacciona con la Sociedad.

Y de ningún modo puede aceptarse que el lenguaje es arbitrario, pues de otra manera no sería posible la comunicación entre nosotros, que sin duda se produce de manera bastante fiable gracias a las numerosas reglas que lo van más o menos controlando. Por supuesto que queda mucho por hacer para formalizar cómo trabaja nuestro cerebro, y de cómo se construye ese sistema de representación tan complejo como es el lenguaje.

Pero es que, además, si el lenguaje no formase parte esencial de la Ciencia, la Ciencia quedaría definitivamente aislada de la Sociedad. Como con frecuencia comenta el profesor Zadeh en sus conferencias, la mayor parte de los descubrimientos científicos tienen una versión *blanda* que suele convertirse en la aportación que efectivamente influye en la vida real. Ver por ejemplo Montero et al. (1987, 2006, 2008) en el contexto del diseño de sistemas elección en democracia, en relación a la famosa paradoja de Arrow (Arrow, 1951).

La Lógica Difusa (también llamada Borrosa, o directamente *fuzzy*) trabaja entre otras cosas en esta dirección. Los conceptos no necesariamente tienen que ser nítidos para poder ser representados y manipulados. Esto supondría cercenar una parte esencial de nuestro conocimiento. Así, Penrose (1994) señalaba acertadamente que la visión científica del mundo exige una profunda mirada dentro de nuestra propia mente. Sin la visión de Freud (1856-1939) no parece posible entender la sociedad actual, por ejemplo.

La Ciencia hace al propio ser humano cada vez más protagonista de la propia Ciencia, como grupo social, como ser vivo y como mente individualizada. Pero el estado actual de las Ciencias Sociales y las Humanidades está todavía lejos de lograr una estructura análoga a la estructura de las Ciencias *duras*. Quizá simplemente porque las Ciencias *blandas* requieren una lógica diferente a la Aristotélica, donde las cosas sólo pueden ser *buenas* o *malas*.

La mayor parte de los conceptos en Ciencias Sociales y Humanidades son vagos por naturaleza, como observamos ocurre con nuestro lenguaje. El hecho de que nuestro lenguaje no se ajuste a la lógica binaria no significa que nuestro lenguaje no deba ser considerado como vehículo de la información o como algo ilógico (Montero et al., 2006). Lo que pasa es que necesitamos implementar lógicas alternativas. Otra lógica con otro tipo de experimentos produciría otra Ciencia, y eventualmente las Ciencias llamadas hoy *blandas* podrían ofrecer una estructura comparable a la que con la lógica binaria han construido Ciencias hoy llamadas *duras*.

7. COMENTARIOS FINALES

No se puede acabar esta exposición sin volver a hacer hincapié en el tremendo impacto que internet tiene para el

desarrollo de modelos de base lingüística (ver por ejemplo Bustince et al., 2008), así como de la relevancia del lenguaje no sólo para la comprensión de la propia Ciencia, sino para gestionar la inversión científica en una Sociedad democrática, donde también la política científica ha de ser justificada en ámbitos no tan técnicos.

Como dice el profesor Zadeh, "*I believe that, although much of modern science is based on bivalent logic, eventually most scientific theories will be based at least in part on fuzzy logic*" (Dumitras-Moschytz, 2007).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado parcialmente con financiación del Gobierno de España, proyecto TIN2009-07901 del Plan Nacional de Investigación, y del Grupo de Investigación 910149 de la Comunidad Autónoma de Madrid.

REFERENCIAS

- Arrow, K.J.: *Social Choice and Individual Values*. Wiley, Chichester (1951, 1964)
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A.R.: Role of the amygdala in decision-making. *Annals of the New York Academy of Sciences* 985, 356–369 (2003)
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H.: Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain* 123, 2189–2202 (2000)
- Bustince, H., Herrera, F., Montero, J. (eds.): *Fuzzy Sets and their extensions*. Springer, Berlin (2008)
- Carnap, R.: *An introduction to the philosophy of science*. Basic Books, New York (1994)
- Doig-Crnkovic, G.: *Theory of Science*. Malardalen Real-Time Research Centre, Malardalen University (2004)
- Dumitras, A., Moschytz, G.: Understanding fuzzy logic, an interview with Lofti Zadeh. *IEEE Signal Processing Magazine* 24, 102–105 (2007)
- Feyerabend, P.K.: *Against method*. Verso, London (1993)
- Feynman, R.P., Leighton, R.B., Sands, M.: *Lecture on physics*. Addison-Wesley, Reading (1966)
- Folks, J.L.: *Ideas of statistics*. Wiley, New York (1981)
- Hsu, M., Baht, M., Adolfs, R., Tranel, D., Camarero, C.F.: Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science* 310, 1680–1683 (2005)
- Kolmogorov, A.N.: *Foundations of the theory of probability*. Chelsea Publishing Co., New York (1956)
- Kounios, J., Frymiare, J.L., Bowden, E.M., Fleck, J.I., Subramaniam, K., Parrish, T.B., Jung-Beeman, M.: The prepared mind, neural activity prior to problem presentation predicts subsequent solution by sudden insight. *Psychological Science* 17, 882–890 (2006)
- Kuhn, T.S.: *The structure of scientific revolutions*. University Chicago Press, Chicago (1962)
- Montero, J.: Arrow's theorem under fuzzy rationality. *Behavioral Science* 32, 267–273 (1987)
- Montero, J.: Classifiers and decision makers. In: Ruan, D., et al. (eds.) *Applied Computational Intelligence*, pp. 19–24. World Scientific, Singapore (2003)
- Montero, J.: The impact of fuzziness in social choice paradoxes. *Soft Computing* 12, 177–182 (2008)
- Montero, J.: Fuzzy logic and science. *Studies in Fuzziness and Soft Computing* 243:67–78 (2009)
- Montero, J., López, V., Gómez, D.: The role of fuzziness in decision making. In: Ruan, D., Kerre, E., Wang, P. (eds.) *Fuzzy Logic: a spectrum of applied and theoretical issues*, pp. 337–349. Springer, Berlin (2006)
- Montero, J., Mendel, M.: Crisp acts, fuzzy decisions. In: Barro, S., et al. (eds.) *Advances in Fuzzy Logic*, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, pp. 219–238 (1998)
- Negoita, C.V.: Postmodernism, cybernetics and fuzzy sets. *Kybernetes* 31, 1043–1049 (2002)
- Penrose, R.: *Shadows of the mind*. Oxford University Press, Oxford (1994)
- Popper, K.R.: *The logic of scientific discovery*. Routledge, London (2002)
- Roy, B.: Decision sciences or decision aid sciences. *European Journal of Operational Research* 66, 184–203 (1993)
- Shafer, G.: Savage revisited. *Statistical Science* 1, 463–501 (1986)
- Stone, M.H.: The Theory of Representations of Boolean Algebras. *Transactions of the American Mathematical Society* 40, 37–111 (1936)
- Wittgenstein, L.: *Tractatus Logico-Philosophicus*. Routledge, London (2001a)
- Wittgenstein, L.: *Philosophical Investigations*. Blackwell, Oxford (2001b)
- Zadeh, L.A.: Fuzzy Sets. *Information and Control* 8, 338–353 (1965)